جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارۀ سی و ششم، زمستان ۱۳۹۹

صص ۱۰۳- ۹۱

: https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.68982.1021

مقاله پژوهشی

بررسی نقش فرایندهای ژئومورفیک در مورفولوژی نبکاهای مناطق نیمه‌خشک

ابوالفضل ربانی- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

ندا محسنی[1]- استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

سیدرضا حسین‌زاده- دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/٦/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/٦

چکیده

در این پژوهش چگونگی عملکرد فرایندهای آبی و بادی در تحول مورفولوژی ساختمان نبکاهای مناطق نیمه‌خشک نشان داده شده است؛ ازاین‌رو ۹ نبکا انتخاب و نمونه‌برداری از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری رسوبات در موقعیت‌های مختلف ساختمان نبکا شامل رأس نبکا، دامنه‌های رو به باد و پشت به باد، حاشیه نبکا و فضای بین نبکا انجام شد. تغییرات معنی‌دار در توزیع اندازه ذرات بیانگر روش‌های متفاوت عملکرد باد در حمل و تراکم رسوبات است. ذرات ماسه به‌طور معنی‌داری در قسمت رأس نبکا افزایش یافته که نتیجۀ جابه‌جایی ذرات به‌وسیلۀ فرآیند جهش و خزش بادی است. افزایش ذرات ریزتر مانند سیلت متوسط و سیلت درشت در دامنه‌های رو به باد و پشت به باد حاکی از غلبه فرآیند حمل رسوبات بادی به‌صورت جهش و تعلیق در این موقعیت‌هاست. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که افزایش معنی‌دار رسوبات رس در حاشیه نبکا می‌تواند نتیجۀ عملکرد رواناب‌هایی باشد که قادر به حمل رسوبات ریزدانه از فضای بین تپه‌ها به سمت موقعیت‌های حاشیه‌ای نبکا هستند؛ شرایطی که با تجمع ذرات ریزدانه منجر به افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت در موقعیت‌های حاشیه شده که می‌تواند به‌نوبه خود منجر به گسترش جزایر حاصلخیز در حاشیه نبکا نسبت به سایر موقعیت‌ها گردد.

کلیدواژه‌ها: رواناب، فرایندهای بادی، فضای بین تپه‌ها، نبکا.

۱ نویسنده مسئول:۰۹۱۱۲۹۱٦۹٤۳

Email: nedamohseni@um.ac.ir

۱. مقدمه

نبکاها، تپه‌های ماسه‌ای هستند که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان در اثر تجمع رسوبات بادی در اطراف پوشش گیاهی شکل می‌گیرند (ونگ و همکاران[1]، ۲۰۰٦؛ لنگفورد و همکاران[2]، ۲۰۰۰؛ کیدرن و زهار[3]، ۲۰۱۸؛ دوگیل و توماس[4]، ۲۰۰۲). تشکیل این تپه‌ها در مناطقی که بر اثر وقوع آشوب‌های محیطی و متعاقباً تخریب خاک و پوشش گیاهی منجر به پیشروی بوته‌ها به داخل علفزارها شده، بسیار زیاد اتفاق می‌افتد (اشلزینگر و همکاران[5]، ۱۹۹۰؛ اکین و همکاران[6]، ۲۰۰۱؛ نیکلینگ و ولف[7]، ۱۹۹٤؛ گیبسن و همکاران[8]، ۲۰۱۵؛ تنگبرگ[9]، ۱۹۹۵). به‌طوری‌که ظهور و توسعه آن‌ها می‌تواند نشانه‌ای از گسترش بیابان‌زایی باشد. تشکیل نبکا به‌واسطه توزیع مجدد منابع خاک به‌وسیله فرایندهای حمل و تراکم رسوبات بادی، اثرات چشمگیری در تغییرات میکروتوپوگرافی و متعاقباً تنوع زیستی خاک در مقیاس‌های مکانی کوچک دارد (راوی و همکاران[10]، ۲۰۰۷؛ رنگو و همکاران[11]، ۲۰۰۰؛ گیلت و پیچفورد[12]، ۲۰۰٤؛ ادریکو و همکاران[13]، ۲۰۱۲).

از سوی دیگر مورفولوژی نبکاها، ساختار و روند رشد آن‌ها می‌توانند گویای بسیاری از تغییرات محیطی باشند (اکین[14]، ۲۰۱۳؛ دوو و همکاران[15]، ۲۰۱۰). به‌طوری‌که تغییراتی که در طول زمان در الگوی این تپه‌ها رخ می‌دهد می‌تواند به‌عنوان شاخص تخریب زمین و بیابان‌زایی در مناطق خشک در نظر گرفته شود.

ساختمان نبکا شامل ساختمان اصلی نبکا متشکل از موقعیت‌های مختلف ژئومورفیک نبکا شامل دامنه رو به باد، دامنه پشت به باد، رأس نبکا و حاشیه‌ها، و همچنین فضای بین نبکاها است. در اکثر مطالعات فقط موقعیت‌های مختلف ژئومورفیک ساختمان اصلی نبکا موردبررسی و توجه قرار گرفته است و موقعیت فضای بین نبکاها که بخشی از ساختمان نبکا محسوب می‌شود، نادیده گرفته شده است. دینامیک مورفولوژی ساختمان این تپه‌ها می‌تواند نتیجه مستقیم و غیر مستقیم عملکرد متقابل فرایندهای آبی و بادی در مقیاس‌های مکانی کوچک باشد. فرایندهایی که به‌نوبه خود نقش مهمی نه‌تنها در تغییرپذیری ویژگی‌های فیزیکی منابع خاک و رسوب، بلکه همچنین می‌توانند

1 Wang et al.
2 Langford
3 Kidron and Zohar
4 Dougill and Thomas
5 Schlesinger et al.
6 Okin et al.
7 Nickling and Wolfe
8 Gibbens et al.
9 Tengberg
10 Ravi et al.
11 Rango et al.
12 Gillette and Pitchford
13 D’Odorico et al.
14 Okin
15 Du et al.

ساختار تنوع زیستی خاک را در موقعیت‌های مختلف ژئومورفیک تپه‌ها تحت تأثیر قرار دهند. تغییراتی که نقش مهمی در جبران اثرات منفی کاهش تنوع زیستی و متعاقباً افزایش ذخیره کربن پدوسفر در مناطق خشک و بیابانی خواهد داشت. علی‌رغم اهمیت عملکرد متقابل فرآیندهای هیدروائولین در دینامیک چنین لندفرم‌هایی، بیشتر مطالعات در رابطه با شکل‌گیری و دینامیک مورفولوژی نبکاها فقط بر نقش فرآیندهای حمل رسوبات بادی به اشکال مختلف جهش، خزش و تعلیق و متعاقباً رسوب‌گذاری آن‌ها در موقعیت‌های مختلف این ساختارها تأکید داشته (لی و روای[1]، ۲۰۱۸) و نقش فرایندهای آبی، بخصوص در مورد نبکاهای موجود در مناطق اقلیمی نیمه‌خشک عملاً نادیده گرفته شده است. تعامل بین عملکرد باد و ویژگی‌های ژئومورفیک ساختمان نبکا نظیر ارتفاع تپه‌ها، شیب و طول دامنه‌ها می‌تواند منجر به ناهمگونی در توزیع اندازه ذرات رسوب در ساختمان تپه‌ها شود. باد در حمل و رسوب‌گذاری ذرات در دامنه رو به باد و پشت باد انتخابی عمل کرده و اصولاً رسوبات در دامنه رو به باد ریزدانه‌تر و دارای جورشدگی بهتری نسب به دامنه پشت به باد هستند. همچنین مطالعات زیادی نشان داده‌اند که رسوبات ساختمان اصلی نبکا بیشتر شامل ماسه و مقدار کمتری سیلت و رس نسبت به رسوبات تشکیل دهنده فضای بین تپه‌ها است که نتیجهٔ جهش ذرات ماسه به‌وسیلهٔ باد است؛ اما سایر مطالعات نشان داده‌اند که رسوبات فضای بین نبکاها شامل مقدار قابل‌توجهی ماسه نسبت به ساختمان اصلی تپه‌ها است (راوی و همکاران، ۲۰۰۷). لی و همکاران[2] (۲۰۱۹) در مطالعه خود به بررسی ویژگی توزیع اندازه ذرات رسوبات نبکا در دشت‌های جنوبی چین پرداختند. وانگ و همکاران[3] (۲۰۱۰) در مطالعهٔ خود به بررسی نحوهٔ شکل‌گیری و همچنین بازسازی تغییرات محیطی و تکامل ژئومورفولوژیکی نبکاهای گز در فلات آلاشان در چین پرداختند. ال اوادهی و همکاران[4] (۲۰۱۳) خاطر نشان کردند که در مراحل اولیهٔ شکل‌گیری نبکاها ازآنجاکه منبع تأمین رسوب بسیار زیاد بوده است ارتفاع، طول و عرض آن‌ها متناسب با یکدیگر رشد کرده و همچنین بین پارامترهای افقی و ارتفاع همبستگی بالایی وجود دارد. در ایران نیز مطالعات زیادی در ارتباط با اکوژئومورفولوژی نبکاها و یا چگونگی روش‌های مختلف حمل رسوبات بادی و اثراتشان بر مورفولوژی نبکاها انجام شده است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱؛ موسوی و همکاران، ۱۳۹۱؛ نگهبان و همکاران، ۱۳۹۲؛ پورخسروانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹٤؛ پاریزی و همکاران، ۱۳۹٦؛ علی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷). علاوه بر مطالعات فراوان در زمینه نقش فرایندهای بادی در دینامیک مورفولوژی ساختمان این تپه‌ها همچنان که به نمونه‌هایی از آن‌ها در بالا اشاره شد، مطالعات محدودی نشان داده‌اند که رسوباتی در ساختمان نبکا وجود دارد که باد عملاً قادر به حمل آن‌ها نخواهد بود. شرایطی که می‌تواند نقش فرآیندهای هیدرولوژیک را در تحول مورفولوژی نبکاها هرچند در مقیاس بسیار کوچک‌تر از باد اثبات نماید. در

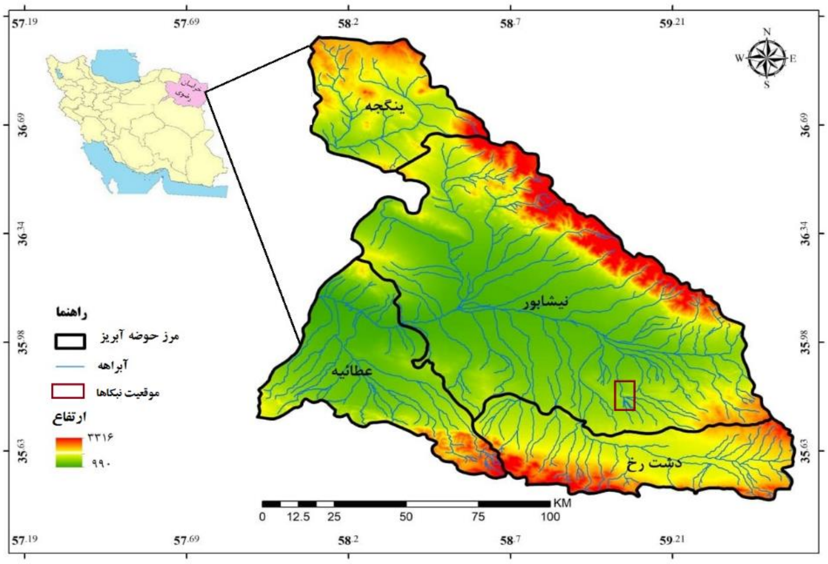
1 Li and Ravi
2 Li et al.
3 Wang et al.
4 Al-Awadhi et al.

مورد نقش فرایندهای آبی جزء معدود مطالعاتی که اخیراً در دنیا انجام شده (راوی و همکاران، ۲۰۱۸)، مطالعات زیادی بخصوص در ایران صورت نگرفته است. در واقع اثرات فرایندهای هیدرولوژیک در تحول مورفولوژی نبکاها می‌تواند به دو صورت اتفاق بیفتد، در حالت اول رواناب‌های که در فضای بین تپه‌ها به خاطر حالت پلایا مانندی که این فضاها دارند شکل می‌گیرند و در مسیر حرکت خود به سمت تپه به یکدیگر متصل شده و منجر به انباشت رسوبات ریزدانهٔ غنی از مواد مغذی در حاشیه نبکا می‌شوند. در حالت دوم رواناب‌های حامل رسوباتی که به دلیل میکروتوپوگرافی موجود در ساختمان نبکا از موقعیت‌های رأس تپه که ظرفیت نفوذپذیری کمتری دارند در امتداد شیب دامنه نبکا به سطوح پایین‌دست و حاشیهٔ تپه حرکت می‌کنند. مواردی که در اکثر مطالعات نادیده گرفته شده‌اند؛ بنابراین در مقاله حاضر به نقش تعامل بین فاکتورها و فرایندهای ژئومورفیک در توزیع اندازه ذرات رسوبات و تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی رسوبات در موقعیت‌های مختلف ساختمان اصلی نبکا و فضای بین نبکاها اشاره شده است. به‌طور جزئی‌تر هدف از مقاله حاضر توسعه یک مدل مفهومی از چگونگی عملکرد متقابل فرایندهای آبی و بادی و اثرات تعاملی آن‌ها در دینامیک ساختمان نبکاهای نیمه‌خشک است.

۲. مواد و روش

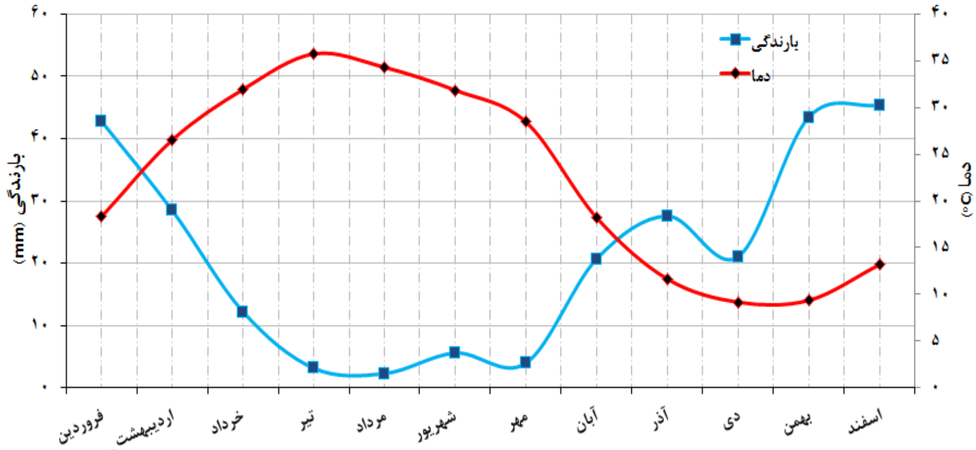
۲. ۱. منطقه موردمطالعه و نمونه‌برداری میدانی

منطقهٔ نبکاهای موردمطالعه در جنوب شرقی شهرستان نیشابور استان خراسان رضوی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه.

مساحت منطقه ۱۱۰۲ کیلومترمربع و از نظر ارتفاعی متوسط ارتفاع منطقه ۱۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریاست. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۲۵۱ میلی‌متر که معمولاً ریزش‌های جوی برای این منطقه از اواخر مهرماه آغاز شده و تا اوایل اردیبهشت‌ماه ادامه دارد. آب‌وهوای حاکم بر منطقه از نوع خشک تا نیمه‌خشک بوده و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۲). تاریخ شروع فصل خشک از اوایل خردادماه تا اواخر مهرماه بوده و فرسایش بادی به‌عنوان یک فرآیند ژئومورفیک غالب در این منطقه عمل می‌کند. جریان باد از ارتفاعات بینالود منشأ گرفته و با جهت شرق به غرب وارد دشت نیشابور شده که باد غالب این منطقه است.



شکل ۲- منحنی آمبروترمیک منطقه موردمطالعه طی دوره آماری ۹۷-۱۳۹۰.

به‌منظور بررسی اثرات فرایندهای آبی و بادی در مورفولوژی نبکاها، در مجموع ۹ نبکا به‌صورت سیستماتیک انتخاب شد. تا حد زیادی سعی شد که نبکاها در مجاورت هم باشند تا اثرات این فرایندها در فضای بین نبکاها به‌عنوان بخشی از ساختمان نبکا بررسی شود. به‌طورکلی جهت کشیدگی تپه‌ها از شرق به غرب بوده که نشان از گسترش آن‌ها به‌موازات باد غالب منطقه است. برای هر نبکا نمونه‌برداری رسوب از ساختمان تپه شامل ساختمان اصلی (موقعیت‌های مختلف ژئومورفیک نبکا شامل دامنه‌های رو به باد و پشت به باد، رأس نبکا و حاشیه‌ها) و همچنین فضای بین تپه‌ها انجام شد. منظور از فضای بین نبکاها فاصله بین یک نبکا تا نبکای مجاورش است که این بخش نسبت به توپوگرافی ساختمان اصلی نبکا حالت هموار و به‌اصطلاح پلایا مانند دارد و به‌صورت یک فروافتادگی در بین نبکاها واقع شده است. فاصله نبکاهایی که در این مطالعه موردبررسی قرار گرفتند به‌طور میانگین حدوداً ۱/۵ متر بوده است. نمونه‌های خاک و رسوب از سطحی‌ترین لایه یعنی عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری انجام شد (در مجموع برای هر نبکا، ۵ تکرار در هر موقعیت از ساختمان اصلی نبکا و فضای بین تپه‌ها).

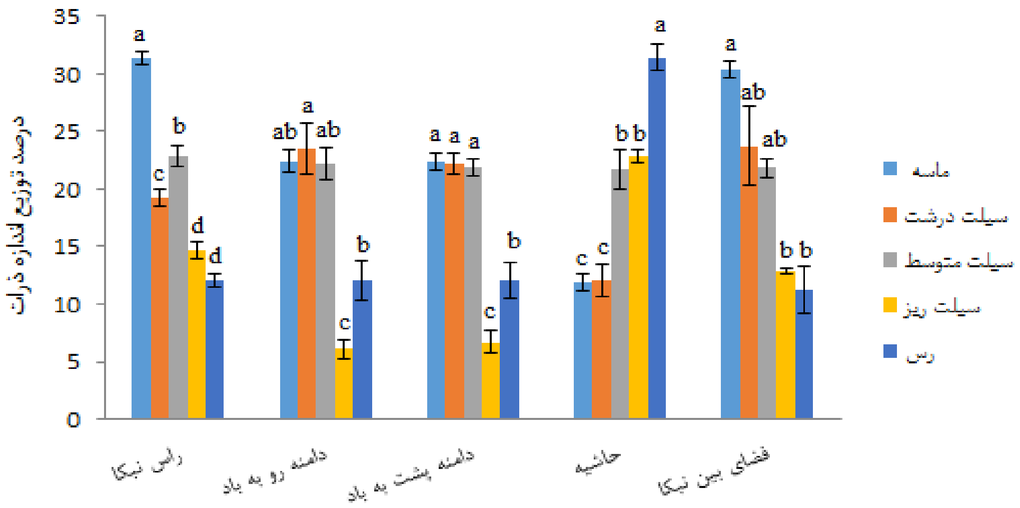
۲. ۲. متغیرهای اندازه‌گیری شده و آنالیزهای آزمایشگاهی و آماری

در آزمایشگاه، لاش و برگ‌ها به‌دقت حذف و تمام نمونه‌ها هوا خشک شده و از الک۲ میلی‌متر عبور داده شد. برای استخراج داده‌های مرتبط با توزیع اندازه ذرات رسوب مقدار ۲۰ گرم خاک را وزن کرده در محلول کالگون به مدت یک شبانه‌روز قرار داده و روز بعد پس از هم زدن با استفاده از هم زن برقی از الک ۰/۰٦۵ عبور داده تا ماسه جدا شود و محلول را در استوانه یک لیتری به حجم رسانده و توسط پیپت براساس دماهای متفاوت در زمان‌های مختلف و از اعماق مختلف محلول را برداشته و نمونه‌ها خشک شد. در مرحله بعد برای طبقه‌بندی توزیع اندازه ذرات از روش USDA استفاده شد. ذرات اندازه‌گیری شده به ۵ طبقه شامل رس (کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر)، سیلت ریز (۰/۰۰۲– ۰/۰۰۵ میلی‌متر)، سیلت متوسط (۰/۰۰۵–۰/۰۲ میلی‌متر)، سیلت درشت (۰/۰۲–۰/۰٦٤ میلی‌متر) و ۲ ≤ماسه ≤ ۰/۰٦٤ میلی‌متر تقسیم شد. به‌منظور بررسی اثرات توزیع اندازه ذرات و متعاقباً پتانسیل عملکرد جریانات سطحی بر مورفولوژی ساختمان نبکا میزان رطوبت و ضریب نفوذپذیری (هدایت هیدرولیکی) ۹ نبکا اندازه‌گیری شد. تعیین میزان نفوذپذیری آب به خاک در شرایط غیر اشباع با استفاده از نفوذسنج‌های مینی دیسک انجام شد. همچنین برای محاسبه میزان رطوبت خاک از روش (آون خشک) استفاده شد (بلیک[1]، ۱۹۹۵). برای مقایسه توزیع اندازه ذرات و تغییرپذیری‌های رطوبت و هدایت هیدرولیکی در موقعیت‌های مختلف ساختمان نبکا ابتدا آنالیز واریانس یک طرفه انجام شد و در صورت وجود تفاوت‌های معنی‌دار، آزمون تکمیلی توکی برای مقایسه میانگین‌ها انجام گردید.

۳. نتایج

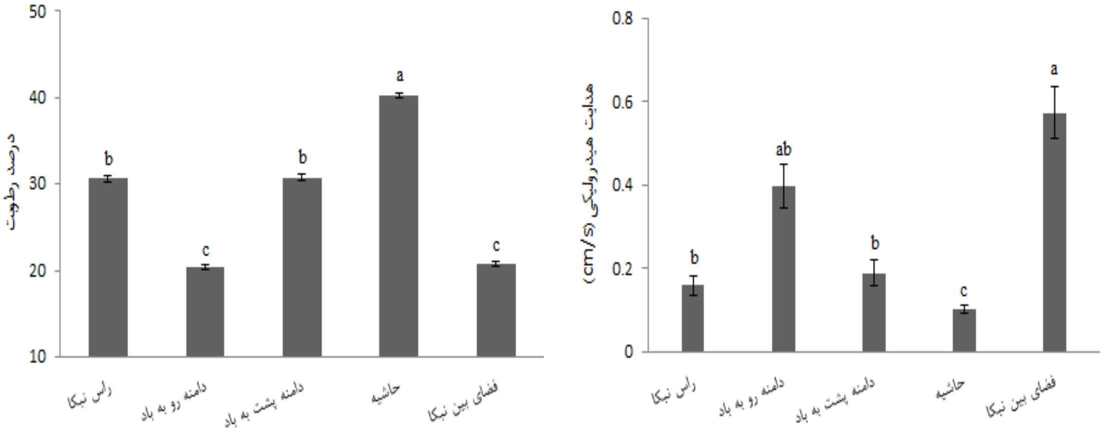
تجزیه‌وتحلیل‌های آماری نشان داد که تفاوت‌های معنی‌داری در موقعیت‌های مختلف ساختمان نبکا از نظر توزیع اندازه ذرات، میزان رطوبت و ضریب هدایت هیدرولیکی قابل مشاهده است (شکل ۳ و ٤). نتایجی که می‌تواند چگونگی عملکرد متقابل فرایندهای آبی و بادی را در شکل‌گیری و تحول ساختمان این نوع از تپه‌های ماسه‌ای در مناطق نیمه‌خشک توضیح دهد.

1 Black



شکل ۳- میانگین توزیع اندازه ذرات رسوب برای ساختمان اصلی نبکا و فضای بین تپه‌ها.

میانگین توزیع اندازهٔ ذرات در قسمت رأس نبکا نشان می‌دهد که در این قسمت بیشترین رسوبات را ماسه اختصاص داده و کمترین میزان ذرات رسوب را رس و سیلت ریز تشکیل می‌دهند. در دامنه رو به باد ذرات غالب رسوب ماسه، سیلت درشت و سیلت متوسط هستند و کمترین میزان رسوب مربوط به ذرات سیلت ریز است. در دامنه پشت به باد نبکا همانند دامنه رو به باد بیشترین میزان رسوب مربوط به ماسه، سیلت درشت و سیلت متوسط می‌باشد و کمترین میزان رسوب مربوط به طبقات ریزدانه بوده است. در حاشیه نبکا، ریزترین رسوبات (در اینجا رس) غالب رسوبات را به خود اختصاص داده است؛ درحالی‌که درشت‌ترین رسوبات (در اینجا ماسه) کمترین درصد میزان رسوب را در این موقعیت‌ها نشان داده است. همچنین توزیع اندازه ذرات در فضای بین نبکا نشان می‌دهد که این موقعیت از ساختمان نبکا، بیشتر شامل ذرات درشت دانه ماسه بوده و ذرات ریزدانه از نوع رس کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. میانگین توزیع رطوبت و هدایت هیدرولیکی در موقعیت‌های مختلف نبکا نشان می‌دهد که ضریب هدایت هیدرولیکی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به ترتیب در رأس نبکا، دامنه‌های پشت به باد، فضای بین نبکا و دامنه‌های رو به باد نسبت به موقعیت‌های حاشیه، افزایش داشته و متعاقباً بیشترین میزان رطوبت در حاشیه‌ها دیده شده است.



شکل ٤- تغییر در میزان هدایت هیدرولیکی و رطوبت در موقعیت‌های مختلف ساختمان نبکا.

به‌طورکلی در رسوبات فضای بین نبکاها میزان هدایت هیدرولیکی نسبت به سایر موقعیت‌های نبکا مقادیر بالاتری از میزان نفوذپذیری را نشان داده است. برعکس، میزان رطوبت کمترین درصد را در این موقعیت‌ها در مقایسه با سایر بخش‌ها نشان می‌دهد. حاشیهٔ نبکا نسبت به سایر موقعیت‌های نبکا دارای بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان نفوذپذیری بوده است.

٤. بحث

باد حداکثر و حداقل ذرات رسوبی که قادر به حمل آن‌هاست به ترتیب ذراتی با قطر ۲۰۰۰ میکرون و کمتر از ۲ میکرون است (لی و همکاران، ۲۰۰۷؛ فیلد و همکاران[1]، ۲۰۱۰؛ لی و راوی، ۲۰۱۸). نتایج توزیع اندازه ذرات در ساختمان اصلی نبکا شامل موقعیت‌های رأس نبکا، دامنه‌های رو به باد و پشت به باد به غیر از حاشیه نشان می‌دهد که بیشترین میزان ذرات رسوب در شکل‌گیری ساختمان نبکا مربوط به انواع ماسه است که محدودهٔ قطر این ذرات بین ۲ ≤ ماسه ≤ ۰/۰٦٤ میلی‌متر می‌باشد که در نتیجهٔ جابه‌جایی از طریق فرآیند جهش و خزش بادی در تکامل نبکا نقش دارند (لی و گائو[2]، ۲۰۰۸؛ کیدرن و زهار، ۲۰۱٦؛ آرنز و همکاران[3]، ۲۰۰۲). برخی از مطالعات نیز تأیید کرده‌اند که ذرات ماسه عمده‌ترین رسوبات بادی تشکیل دهنده ساختمان اصلی نبکا هستند (ژائو و همکاران[4]، ۲۰۱۹). به‌طورکلی در قسمت رأس نبکا میزان ذرات ماسه (۲ ≤ ذرات ≤ ۰/۰٦٤ میلی‌متر) به‌طور معنی‌داری بالا بوده که در نتیجه جابه‌جایی ذرات به شکل جهش و خزش می‌باشد. در شکل‌گیری رسوبات دامنه‌های پشت به باد و رو به باد

1 Field et al.
2 Li and Guo
3 Arens et al.
4 Zhao et al.

ذرات غالب ماسه و سیلت بوده که نشان می‌دهد فرآیند غالب در شکل‌گیری و تکامل این موقعیت‌ها، فرایند جهش و تعلیق بادی است. بیشتر، نتایج نشان داده است که برعکس ساختمان اصلی نبکا، با توجه به افزایش درصد ذرات ماسه، روش غالب حمل رسوبات توسط باد در سایر موقعیت‌های ساختمان نبکا یعنی فضای بین نبکا، حمل به‌صورت خزش می‌باشد. اندک مطالعاتی که در زمینه توزیع اندازه ذرات در فضای بین نبکاها انجام شده است نیز تائید کرده‌اند که فضای بین نبکاها بیشتر تحت تأثیر فرآیند خزش می‌باشند (ژوو و یو[1]، ۲۰۱٤). این نتایج بیانگر اثرات روش‌های مختلف حمل رسوبات بادی در شکل‌گیری و تکامل موقعیت‌های مختلف ساختمان نبکا می‌باشد. براساس نتایج، رسوباتی در ساختمان نبکا دیده می‌شود که به نقش فرآیندهای هیدرولوژیک هرچند در مقیاس کوچک در تعامل با فرآیندهای بادی که نقش غالب را در تکامل نبکاها دارند می‌توان اشاره کرد. هرچند مطالعات اندکی در ایران در ارتباط با هیدرولوژی و مورفولوژی نبکاها انجام شده است، آنها اثرات آب زیرزمینی را به‌عنوان یک فاکتور هیدرولوژیک کنترل کننده سنجیده‌اند (پاریزی و همکاران، ۱۳۹٦). بااین‌وجود مطالعاتی در ارتباط با اثرات فرایندهای هیدرولوژیک متأثر از رواناب‌های سطحی موجود در فضای بین نبکا بر مورفولوژی ساختمان نبکا انجام نشده است. برخلاف سایر موقعیت‌های نبکا که متأثر از فرایندهای بادی، رسوبات درشت دانه‌تری داشته‌اند، نتایج توزیع اندازه ذرات در حاشیه نبکاها حاکی از وجود رسوبات بسیار ریزدانه‌ای (رس، کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر و سیلت ریز، ۰/۰۰۲– ۰/۰۰۵ میلی‌متر) است که باد قادر به حمل و تراکم این قطر از رسوبات نیست. در واقع، افزایش درصد تجمع ذراتی با قطر کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر در حاشیهٔ نبکاها این موضوع را نشان می‌دهد که علاوه بر فرآیند بادی که نقش غالب را در تحول موقعیت‌های مختلف نبکا و ساختار این تپه‌ها دارد، فرآیندهای هیدرولوژیک در تعامل با فرایندهای بادی نیز نقش مهمی در تکامل ساختمان نبکاها هرچند در مقیاس کوچک به عهده دارد. در واقع رواناب‌های که در فضای بین تپه‌ها به خاطر حالت پلایا مانندی که این فضاها دارند شکل می‌گیرند در مسیر حرکت، رسوبات ریزدانه را با خود حمل کرده و درنهایت در حاشیهٔ تپه‌ها انباشته می‌کنند. از سوی دیگر تجمع رسوبات ریز در حاشیهٔ نبکا می‌تواند نتیجهٔ حرکت رواناب حامل رسوب از قسمت رأس نبکا به خاطر ظرفیت نفوذپذیری کمتر این موقعیت در امتداد شیب دامنه به سمت حاشیه‌ها، نیز باشد. این نتایج در تائید با سایر مطالعاتی است که نشان داده‌اند رواناب‌های شکل گرفته در فضای بین نبکاها نقش مؤثری در تحول ساختمان نبکا ایفا می‌کنند (بویس و همکاران[2]، ۲۰۱۰؛ الدرگ و رزنترتراند[3]، ۲۰۰٤). همچنین مطالعات دیگری نیز این موضوع را تأیید کرده‌اند که حاشیه نبکاها نسبت به سایر موقعیت‌های مختلف ساختمان نبکا و فضای بین نبکا دارای رسوبات ریزدانه‌تری هستند (راوی و همکاران، ۲۰۱۸). فرایندی که مرتبط است با دو شکل حرکت رواناب حامل رسوبات یکی در فضای بین نبکاها و

1 Zhu and Yu
2 Buis et al.
3 Eldridge and Rosentreterand

دیگری، روانابی که رسوبات را از رأس نبکا در جهت رو به پایین شیب تپه حرکت می‌دهد. البته محدودهٔ رسوبات ریزدانه‌ای که در مطالعات دیگر به آن اشاره شده بیشتر ماسه خیلی ریز در اندازه (۵۰–۱۰۰ میکرون) و ماسه ریز (۱۰۰–۲۵۰ میکرون) است که با ذرات ریز مطالعهٔ ما که شامل رس، سیلت ریز و سیلت متوسط بوده، تفاوت دارد که احتمالاً به خاطر تفاوت رسوبات منطقه منشأ و تفاوت در اندازه نبکاهای موردمطالعه می‌باشد. توزیع ناهمگن اندازه ذرات در ساختمان نبکا باعث توزیع متفاوت رطوبت و ضریب نفوذپذیری (فاکتورهایی که نقش اساسی در ایجاد جزایر حاصلخیز در اکوسیستم‌های خشک دارند) در بخش‌های مختلف این ساختارها می‌شود. در واقع تفاوت در نوع عملکرد فرایندهای آبی و بادی با توزیع ذراتی با اندازه‌های مختلف باعث شد که ظرفیت نگهداشت رطوبت در حاشیه نبکاها افزایش یافته که می‌تواند زمینه‌ساز تجمع مواد مغذی و متعاقباً رشد بیشتر پوشش گیاهی در این موقعیت‌ها باشد. الگوی مشاهده شده از توزیع اندازه ذرات در ترکیب با الگوی هدایت هیدرولیکی و رطوبت برای سیستم نبکا و فضای بین نبکا ما را قادر به توسعه یک مدل مفهومی از چگونگی شکل‌گیری و دینامیک این تپه‌ها خواهد ساخت (شکل ۵). در این مدل فرآیندهایی که در تکامل نبکا مشارکت دارند شامل جهش و خزش رسوباتی در اندازه ماسه، فرآیند تعلیق ذرات در تعامل با تاج پوشش، حمل رسوبات از طریق روانابی که در فضای بین نبکاها جریان می‌یابد و رواناب جریان یافته از رأس نبکا به سمت حاشیه، می‌باشند.



شکل ۵. شماتیک مفهومی از تعامل فرآیندهای بادی و هیدرولوژیک در تحول ساختمان نبکا الف) فلش‌های سیاه نشان‌دهنده جهت باد غالب و همچنین فرآیندهای بادی مؤثر در تحول ساختمان نبکا؛ ب) فلش‌های آبی نشان‌دهنده چگونگی عملکرد فرآیندهای هیدرولوژیک در فضای بین نبکا به خاطر حالت پلایا مانندی که در این بخش از نبکا ایجاد شده و متعاقباً حمل رسوبات از این فضاها به سمت حاشیه تپه‌ها است. فلش‌های آبی روی تپه نشان‌دهنده عملکرد فرآیند آبی در انتقال رسوبات در امتداد شیب تپه و رسوب‌گذاری در موقعیت‌های حاشیه-ای هستند.

۵. جمع‌بندی

در پژوهش حاضر، تجزیه‌وتحلیل توزیع انـدازه ذرات رسـوب در سـاختمان نبکـا متشـکل از سـاختمان اصـلی و فضای بین نبکا نشان داد که توزیع متفاوت اندازه ذرات در موقعیت‌های مختلـف سـاختمان نبکـا و فضـای بـین نبکـا باعث ناهمگنی در میزان هدایت هیدرولیکی و رطوبت شده است؛ شرایطی کـه نشـان مـی‌دهـد فرآینـدهای مختلـف ژئومورفیک در شکل‌گیری و تکامل ساختمان نبکا نقش دارند. نتـایج ایـن مطالعـه نشـان داد کـه تعامـل فرآینـدهـای هیدرولوژیک و فرآیندهای بادی در مقیاس‌های مکانی کوچک می‌توانند نقش مؤثری در تحول مورفولوژی این تپـه‌هـا داشته باشند. تجمع رسوبات ریزدانـه در حاشـیهٔ نبکـا کـه غالـب ایـن رسـوبات از جـنس رس، کوچـک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر و سیلت ریز، ۰/۰۰۲– ۰/۰۰۵ میلی‌متر هستند، نشان می‌دهد که حاشیه نبکا تحت تأثیر رواناب‌هایی اسـت کـه رسوبات ریز دانه را از فضای بین نبکا و همچنین از دامنهٔ نبکا به سمت حاشیه حمل می‌کنند. افزایش تجمـع رسـوبات ریزدانه باعث می‌شود که میزان رطوبت و ظرفیت نگهداشت آب خاک در این موقعیت‌هـا نسـبت بـه سـایر بخـش‌هـا افزایش یافته که زمینه‌ساز تجمع مواد مغذی و متعاقباً شرایط تسهیلی برای رشد پوشش گیاهی در حاشیه خواهد بود.

کتابنامه

پورخسروانی، محسن؛ ولی، عباس علی؛ معیری، مسـعود؛ ۱۳۹۲. بررسـی ارتباطـات اکوژئومورفولـوژی تـوده زیسـتی و حجـم رسوبات مخروط نبکاهـای گونـه Reaumaria Turcestanica در کـویر خیرآبـاد سـیرجان. *جغرافیـا و آمـایش شـهری منطقه‌ای*. شماره ۳. صص ۶۳–۷۴.

علی نژاد، محمد؛ حسینعلی زاده، محسن؛ اونق، مجید؛ محمـدیان بهبهـانی، علـی؛ ۱۳۹۷. بررسـی الگـوی پـراکنش مکـانی نبکـا (مطالعهٔ موردی: دشت صوفیکم؛ استان گلستان). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۵۰. صص۶۹۷–۷۱۲.

مقصودی، مهران؛ پاریزی، اسماعیل؛ ویسی، عبـدالکریم ؛ ۱۳۹٤. تحلیـل مقایسـه‌ای ویژگـی‌هـای اکوژئومورفولـوژیکی نبکاهـای سیرجان و شهر بابک. *فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق* خشک. شماره ۲۲. صص ۱۲۰–۱۰٤.

مقصودی، مهران؛ نگهبان، سعید؛ باقری، سجاد؛ چزغه، سمیرا؛ ۱۳۹۱. مقایسه و تحلیـل ویژگـی‌هـای ژئومورفولـوژیکی نبکاهـای چهار گونه گیاهی در غرب دشت لوت شرق شهداد– دشت تکاب. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعـی*. شـماره ۷۹. صـص ۷٦– ۵۵.

موسوی، سیدحجت؛ پورخسروانی، محسن؛ محمودی محمدآبادی، طیبه؛ ۱۳۸۹. گروه‌بندی نبکاهای شمال شرق کـویر سـیرجان با استفاده از الگوریتمTOPSIS . *مطالعات مناطق* خشک. شماره ۱. صص ۱۰۵–۸

موسوی، سیدحجت؛ معیری، مسعود؛ سیف، عبدالله؛ ولی، عباسعلی؛ ۱۳۹۱. انتخاب مناسب‌ترین نـوع گونـه گیـاهی نبکـا جهـت تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از مدلAHP مطالعه موردی: ریگ نجارآباد– شمال شرق طـرود. *محیط‌شناسـی*. شـماره ٦۱. صص ۱۰۵–۱۱٦.

نگهبان، سعید؛ یمانی، مجتبی؛ مقصودی، مهـران؛ عزیـزی، قاسـم؛ ۱۳۹۲. بررسـی تـراکم، ژئومورفولـوژی و پهنه‌بنـدی ارتفـاعی نبکاهای حاشیه غربی دشت لوت و تأثیرات پوشش گیاهی بـر مورفولـوژی آن‌هـا. *مجلـه ژئومورفولـوژی کمـی*. شـماره ٤. صص ٤۲-۱۷.

D'Odorico, Paolo, Okin, Gregory S. and Bestelmeyer, Brandon T., 2012. A synthetic review of feedbacks and drivers of shrub encroachment in arid grasslands: Ecohydrolgy, V. 5, p. 520-530.
Al-Awadhi, J. M. and Al-Dousari, A. M., 2013. Morphological characteristics and development of coastal nabkhas, north-east Kuwait: International Journal of Earth Sciences, v. 102, p. 949-958.
Arens, S. M., Van Boxel, J. H. and Abuodha, J. O. Z., 2002. Changes in grain size of sand in transport over a foredune: Earth Surface Processes and Landforms, v. 27, p. 1163-1175.
Black CA 1965. Methods of soil analysis: part I. Physical and mineralogical properties. American Society of Agronomy, Madison.
Buis, E., Temme, A. J. A. M., Veldkamp, A., Boeken, B., Jongmans, A. G., Van Breemen, N. and Schoorl, J. M., 2010. Shrub mound formation and stability on semi-arid slopes in the Northern Negev Desert of Israel: A field and simulation study: Geoderma, V. 156, p. 363-371.
Dougill, Andrew J. and Thomas, Andrew D., 2002. Nebkha dunes in the Molopo Basin, South Africa and Botswana: formation controls and their validity as indicators of soil degradation: Journal of Arid Environments, v. 50, p. 413-428.
Du, Jianhui, Yan, Ping. and Dong, Yuxiang., 2010. The progress and prospects of nebkhas in arid areas: Journal of Geogaphical Sciences, v. 20, p. 712-728.
Eldridge, D.J., Rosentreterand, R., 2004. Shrub mounds enhance water flow in a shrubsteppe community in southwestern Idaho, USA: USDA Forest Service Proceedings 31, p. 77–83.
Gibbens, RP, McNeely, RP, Havstad, KM, Beck, RF. and Nolen, B., 2005. Vegetation changes in the Jornada Basin from 1858 to 1998: Journal of Geogaphical Sciences, v. 61, p. 651-668.
Gillette, Dale A. and Pitchford, Ann M., 2004. Sand flux in the northern Chihuahuan Desert, New Mexico, USA, and the influence of mesquite-dominated landscapes: Journal of Geophysical Research: Earth Surface, v. 109.
Hennessy, JT, Gibbens, RP, Tromble, JM. and Cardenas, M., 1985. Mesquite (Prosopis glandulosa Torr.) dunes and interdunes in southern New Mexico: a study of soil properties and soil water relations: Journal of Arid Environments, v. 9, P. 27-38.
Kidron, Giora J. and Zohar, Motti., 2016. Factors controlling the formation of coppice dunes (nebkhas) in the Negev Desert: Earth Surface Processes and Landforms, v. 4, P. 918-927.
Langford, RP., 2000. Nabkha (coppice dune) fields of south-central New Mexico, USA: Journal of Arid Environments, v. 46, P. 25-41.
Li, J. and Ravi, S., 2018. Interactions among hydrological-aeolian processes and vegetation determine grain-size distribution of sediments in a semi-arid coppice dune (nebkha) system: Journal of Arid Environments, v. 154, p. 24-33.
Li, J., Yao, Q., Wang, Y., Liu, R. and Zhang, H., 2019. Grain-size characteristics of surface sediments of nebkhas at the southern margin of the Mu Us dune field, China. J. Catena 183: PP. 104210.
Nickling, WG. and Wolfe, SA., 1994. The morphology and origin of nabkhas, region of Mopti, Mali, West Africa: Journal of Arid Environments, v. 28, p. 13-30.
Okin, Gregory S, Murray, Bruce. and Schlesinger, William H., 2001. Degradation of sandy arid shrubland environments: observations, process modelling, and management implications: Journal of Arid Environments, v. 47, P. 123-144.
Rango, Albert, Chopping, Mark, Ritchie, Jerry, Havstad, Kris, Kustas, William. and Schmugge, Thomas., 2000. Morphological characteristics of shrub coppice dunes in desert grasslands of

southern New Mexico derived from scanning LIDAR: Remote Sensing of Environment, v. 74, P. 26-44.

Ravi, Sujith, D'Odorico, Paolo. and Okin, Gregory S., 2007. Hydrologic and aeolian controls on vegetation patterns in arid landscapes: Geophysical Research Letters, PP. 34(24).

Schlesinger, William H, Reynolds, James F, Cunningham, Gary L, Huenneke, Laura F, Jarrell, Wesley M, Virginia, Ross A. and Whitford, Walter G., 1990. Biological feedbacks in global desertification: Science, v. 247, P. 1043-1048.

Tengberg, Anna., 1995. Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso: Journal of Arid Environments, v. 3, P. 265-282.

Wang, X, Wang, T, Dong, Z, Liu, X. and Qian, G., 2006. Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China: Journal of Arid Environments, v. 65, P. 129-141.

Zhang, Z. and Dong, Z., 2015. Grain size characteristics in the Hexi Corridor Desert: Aeolian Research, v. 18, P. 55-67.

Zhao, Y., Gao, X., Lei, J., Li, S., Cai, D. and Song, Q., 2019. Effects of Wind Velocity and Nebkha Geometry on Shadow Dune Formation: Journal Geophysical Research: Earth Surface, v. 124, p. 2579-2601.

Zhu, B. and Yu, J., 2014. Aeolian sorting processes in the Ejina desert basin (China) and their response to depositional environment: Aeolian Research, v. 12, P. 111-120.